



Espacenet

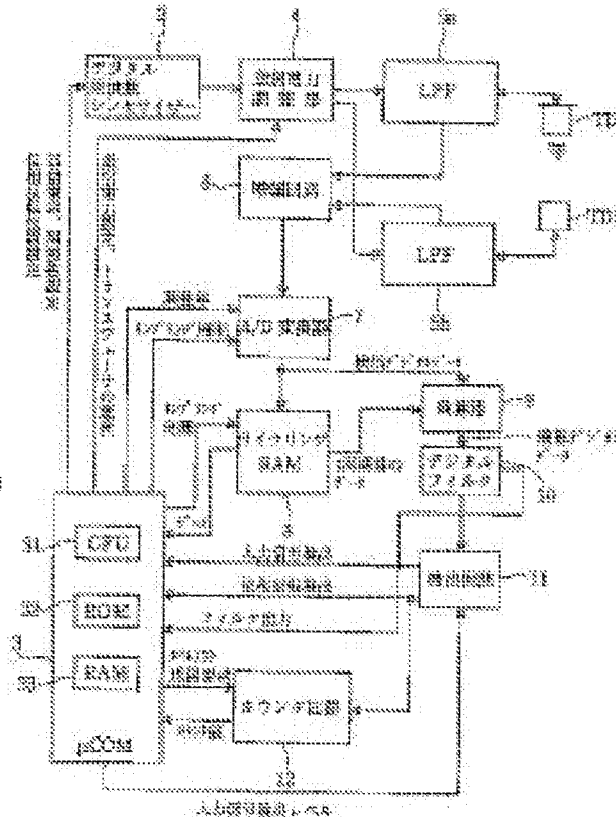
Bibliographic data: JP 2000035353 (A)

METHOD AND APPARATUS FOR MEASUREMENT OF PROPAGATION TIME AS WELL AS ULTRASONIC FLOWMETER

Publication date: 2000-02-02
Inventor(s): KAWANA HIROYOSHI; HARADA TOSHIHIRO ±
Applicant(s): YAZAKI CORP ±
Classification: - international: G01F1/66; (IPC1-7): G01F1/66
- European:
Application number: JP19990049689 19990226
Priority number(s): JP19990049689 19990226; JP19980131558 19980514

Abstract of JP 2000035353 (A)

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a method and an apparatus, for the measurement of the propagation time, in which the propagation time of ultrasonic waves at a small flow rate can be measured stably and precisely and to provide an ultrasonic flowmeter by which the flow rate of a fluid at a small flow rate can be measured stably and precisely. **SOLUTION:** A pair of acoustic transducers TD1, TD2 are arranged in a fluid conduit so as to be faced by keeping a set distance in the flow direction of a fluid. A transmitting-signal generation means 2 generates a transmitting signal into which a marker with an inverted phase is inserted in a predetermined position. A receiving-signal processing means 31 receives ultrasonic waves from a transmission-side ultrasonic transducer, and it detects a phase-inverted part in a detecting signal generated by a reception-side ultrasonic transducer. A clocking means 12 measures, as the propagation time, the time up to the reception timing of the detected phase-inverted part from the transmission timing of the marker inserted into the transmitting signal.



Last updated:
04.04.2011 Worldwide
Database 5 7 20; 92p

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2000-35353
(P2000-35353A)

(43)公開日 平成12年2月2日(2000.2.2)

(51)Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード*(参考)
G 0 1 F 1/66	1 0 1	G 0 1 F 1/66	1 0 1

審査請求 未請求 請求項の数8 O L (全 15 頁)

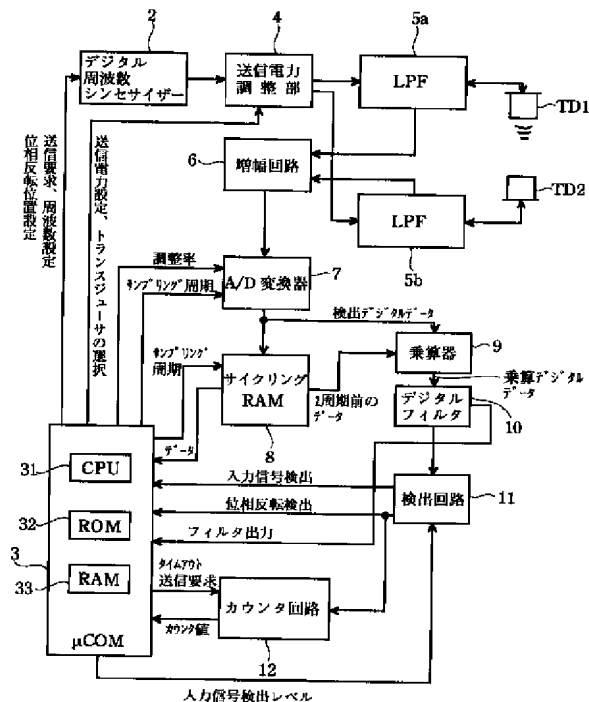
(21)出願番号	特願平11-49689	(71)出願人	000006895 矢崎総業株式会社 東京都港区三田1丁目4番28号
(22)出願日	平成11年2月26日(1999.2.26)	(72)発明者	川名 弘悦 静岡県天竜市二俣町南鹿島23 矢崎計器株式会社内
(31)優先権主張番号	特願平10-131558	(72)発明者	原田 鋭博 静岡県天竜市二俣町南鹿島23 矢崎計器株式会社内
(32)優先日	平成10年5月14日(1998.5.14)	(74)代理人	100060690 弁理士 瀧野 秀雄 (外1名)
(33)優先権主張国	日本(J P)		

(54)【発明の名称】 伝搬時間計測方法及び装置並びに超音波式流量計

(57)【要約】

【課題】 小流量での超音波伝搬時間の計測を安定して正確に行うことを可能にした伝搬時間計測方法及び装置並びに小流量の流体流量の計測を安定して正確に行うことを可能にした超音波式流量計を提供する。

【解決手段】 一对の音響トランスジューサTD1, TD2を流体管路に流体の流れ方向に一定距離間隔して対向するように配置した。送信信号発生手段2は、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号を発生する。受信信号処理手段31は、送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出する。計時手段12は、送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を伝搬時間として計測する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 流体管路に流体の流れ方向に一定距離離間して対向するように配置した一対の音響トランスジューサの一方を送信側、他方を受信側として使用し、送信側音響トランスジューサの発生する超音波が受信側音響トランスジューサに到達するまでの時間を伝搬時間として計測するようにした伝搬時間計測方法において、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号により前記送信側音響トランスジューサを駆動して超音波を発生させ、前記送信側音響トランスジューサからの超音波を受信して前記受信側音響トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、前記送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから前記検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を前記伝搬時間として計測するようにしたことを特徴とする伝搬時間計測方法。

【請求項2】 流体管路に流体の流れ方向に一定距離離間して対向するように配置した一対の音響トランスジューサと、該一対の音響トランスジューサの一方を送信側とし、該送信側音響トランスジューサを駆動して超音波を発生させる送信信号を発生する送信信号発生手段と、前記一対の音響トランスジューサの他方を受信側とし、該受信側音響トランスジューサが前記送信側音響トランスジューサからの超音波を受信して発生する検出信号を受信処理する受信信号処理手段と、前記送信信号と前記検出信号とに基づいて、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から受信側音響トランスジューサに超音波が到達するまでの時間を伝搬時間として計測する計時手段とを備える伝搬時間計測装置において、前記送信信号発生手段は、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号を発生し、前記受信信号処理手段は、前記送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して前記受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、前記計時手段は、前記送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから前記検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を前記伝搬時間として計測することを特徴とする伝搬時間計測装置。

【請求項3】 前記送信信号発生手段の発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された予め定めた波形の周期信号であり、前記受信信号処理手段が、前記受信側音響トランスジューサからの検出信号をアナログデジタル変換して検出デジタルデータを出力するA/D変換手段と、該A/D変換手段からの検出デジタルデータを1周期別に記録する記録手段と、該記録手段に記録された1周期前の検出デジタルデータと前記A/D変換手段からの検出デジタルデータとを順次乗算して乗算デジタルデータを出力す

る乗算手段と、該乗算手段からの乗算デジタルデータの極性の反転を検出する反転検出手段と、前記記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出する第1の補正点算出手段とを有し、

前記計時手段は、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から前記反転検出手段による極性の反転の検出までの時間を計時し、該計時した時間を前記第1の補正点算出手段により算出した第1の補正点によって補正して伝搬時間を計測することを特徴とする請求項2記載の伝搬時間計測装置。

【請求項4】 前記送信信号発生手段が送信信号の送信電力を予め定めた設定データにより可変可能であり、前記A/D変換手段が検出デジタルデータの値を予め定めた調整率で調整可能であり、前記受信信号処理手段が、前記記録手段に記録されている検出デジタルデータに基づいて検出デジタルデータの振幅を算出する振幅算出手段を有し、該振幅算出手段によって算出した振幅に基づいて、前記送信信号発生手段の送信電力を可変する設定データと、前記A/D変換手段の調整率とを設定することを特徴とする請求項3記載の伝搬時間計測装置。

【請求項5】 前記送信信号発生手段の発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された予め定めた波形の周期信号であり、前記受信信号処理手段が、前記受信側音響トランスジューサからの検出信号をアナログデジタル変換して検出デジタルデータを出力するA/D変換手段と、該A/D変換手段からの検出デジタルデータを1周期別に記録する記録手段と、該記録手段に記録された1周期前の検出デジタルデータと前記A/D変換手段からの検出デジタルデータとを順次乗算して乗算デジタルデータを出力する乗算手段と、該乗算手段からの乗算デジタルデータの極性の反転を検出して位相反転検出信号を出力する反転検出手段と、前記記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出する第1の補正点算出手段、又は前記反転検出手段により極性の反転を検出した乗算デジタルデータと直前の乗算デジタルデータとによる直線近似により直線のゼロクロス点を位相反転部分の第2の補正点として算出する第2の補正点算出手段の少なくとも一方とを有し、

前記計時手段は、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から前記反転検出手段からの位相反転検出信号の出力までの時間を計時し、該計時した時間を前記第1の補正点算出手段により算出した第1の補正点によって補正して第1の伝搬時間、又は前記第2の補正点算出手段により算出した第2の補正点によって補正して

第2の伝搬時間の少なくとも一方を計測することを特徴とする請求項2記載の伝搬時間計測装置。

【請求項6】 前記送信信号発生手段の発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された2つのマーカが挿入された予め定めた波形の周期信号であり、前記反転検出手段は前記2つのマーカの各々を検出して第1及び第2の位相反転検出信号を出力し、前記A/D変換手段が前記反転検出手段からの第1の位相反転検出信号によって検出デジタルデータのサンプリング周期を短くすることを特徴とする請求項3～5の何れかに記載の伝搬時間計測装置。

【請求項7】 前記送信信号発生手段は、前記予め定めた位置に対応する1/4周期のタイミングで位相を反転した一定周期の方形波を発生する方形波発生手段と、該方形波発生手段の発生する方形波を正弦波に変換する方形波—正弦波変換手段とを有し、該方形波—正弦波変換手段が前記ゼロクロス点において位相反転された正弦波を前記送信信号として出力することを特徴とする請求項3～6の何れかに記載の伝搬時間計測装置。

【請求項8】 流体管路に流体の流れ方向に一定距離離間して対向するように配置した一対の音響トランスジューサと、該一対の音響トランスジューサの一方を送信側又は送信側に、他方を受信側又は送信側となるように交互に切り換える切換手段と、該切換手段によって送信側に切り換えられた前記送信側音響トランスジューサを駆動して超音波を発生させる送信信号を発生する送信信号発生手段と、前記切換手段によって受信側に切り換えられた前記受信側音響トランスジューサが前記送信側音響トランスジューサからの超音波を受信して発生する検出信号を受信処理する受信信号処理手段と、前記送信信号と前記検出信号とに基づいて、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から受信側音響トランスジューサに超音波が到達するまでの2つの時間を第1及び第2の伝搬時間として計測する計時手段と、該計時手段によって計測した前記第1及び第2の伝搬時間の差によって前記流体管路に流れる流体の流速を求める流速計測

$$t_1 = L / (C + V) \quad \cdots (1)$$

$$t_2 = L / (C - V) \quad \cdots (2)$$

$$V = L / 2 \cdot ((t_2 - t_1) / (t_1 \cdot t_2)) \quad \cdots (3)$$

$$Q = K \cdot A \cdot V \\ = K \cdot A \cdot \{ L / 2 \cdot ((t_2 - t_1) / (t_1 \cdot t_2)) \} \quad \cdots (4)$$

となる。ただし、Kは、流体の種類などで定まる係数である。

【0004】ところで、図9には示していないが、従来の超音波式流量計では、送信側振動子が発した超音波を受信側振動子が受信するまでの伝搬時間 t_1 、 t_2 を計測するため、図11に示すように受信側振動子が超音波を受信することで発生する検出信号を増幅回路24により増幅して増幅検出信号を得、この増幅検出信号を次の

手段と、該流速計測手段により計測した流速に流体管路の断面積と定数を乗じて流量を求める流量演算手段とを備える超音波式流量計において、

前記送信信号発生手段は、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号を発生し、

前記受信信号処理手段は、前記送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して前記受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、

前記計時手段は、前記送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから前記検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を前記伝搬時間として計測することを特徴とする超音波式流量計。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は伝搬時間計測方法及び装置並びに超音波式流量計に係り、特に超音波を利用してガスなどの流量を計測する超音波式流量計に用いられる伝搬時間計測方法及び装置並びに超音波式流量計に関するものである。

【0002】

【従来の技術】従来、超音波式流量計として、図9の概要構成ブロック図に示すものが考えられている。同図において、流体管路21の一部に超音波振動子22、23を対向するように配置し、流体管路21の上流側に配置した超音波振動子22（＝送信側振動子として機能）から発せられた超音波を流体管路21の下流側に配置した超音波振動子23（受信側振動子として機能）が検出するまでの時間 t_1 及び超音波振動子23（送信側振動子として機能）から発せられた超音波を超音波振動子22（受信側振動子として機能）が検出するまでの時間 t_2 を計測する（図10（a）、（b）参照）。

【0003】この場合において、時間 t_1 及び時間 t_2 は、超音波振動子22と超音波振動子23との間の距離をL、音速をC、流体の流速をV、流体の流量をQ、流体管路の断面積をAとすると、

$$t_1 = L / (C + V) \quad \cdots (1)$$

$$t_2 = L / (C - V) \quad \cdots (2)$$

$$V = L / 2 \cdot ((t_2 - t_1) / (t_1 \cdot t_2)) \quad \cdots (3)$$

$$Q = K \cdot A \cdot V \\ = K \cdot A \cdot \{ L / 2 \cdot ((t_2 - t_1) / (t_1 \cdot t_2)) \} \quad \cdots (4)$$

比較部25にて所定の基準値と比較し、比較部25は比較の結果を図示しない計時部に送る。又は、比較部25をゼロクロス比較部として構成し、増幅検出信号をゼロクロス比較部25にて0値と比較し、その比較の結果を図示しない計時部に送る。そして、計時部では、送信側振動子に超音波を発生させる図示しないスタート部からすでに送られている信号から比較部25からの信号までの経過時間を計時し、この経過時間を伝搬時間 t_1 、 t_2

2として求める。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】上述した超音波式流量計では、図10(b)から明らかなように、流体の流量が大流量である場合には時間 t_1 と時間 t_2 との時間差 Δt が長い、計測精度上の問題はないが、流体の流量が小流量である場合には、時間 t_1 と時間 t_2 との時間差 Δt が非常に短くなり、上述したような伝搬時間の計測の仕方では、僅かなノイズが重畳しても大きな計測誤差が生じるようになる。特に、一定の微小な流量値以上の連続的な流量の存在によって配管の微小漏洩を監視するような場合には、この誤差が監視結果を誤らせてしまう致命的な問題になることがある。

【0006】よって本発明は、小流量での超音波伝搬時間の計測を安定して正確に行うことを可能にした伝搬時間計測方法及び装置、並びに小流量の流体流量の計測を安定して正確に行うことを可能にした超音波式流量計を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するためなされた請求項1記載の発明は、流体管路に流体の流れ方向に一定距離離間して対向するように配置した一対の音響トランスジューサの一方を送信側、他方を受信側として使用し、送信側音響トランスジューサの発生する超音波が受信側音響トランスジューサに到達するまでの時間を伝搬時間として計測するようにした伝搬時間計測方法において、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号により前記送信側音響トランスジューサを駆動して超音波を発生させ、前記送信側音響トランスジューサからの超音波を受信して前記受信側音響トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、前記送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから前記検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を前記伝搬時間として計測するようにしたことを特徴とする伝搬時間計測方法に存する。

【0008】請求項1記載の伝搬時間計測方法によれば、送信側音響トランスジューサを駆動する送信信号には、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されていて、受信側音響トランスジューサが超音波を受信して発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を伝搬時間として計測するようにしているので、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分を確実に検出することができる。

【0009】請求項2記載の発明は、流体管路に流体の流れ方向に一定距離離間して対向するように配置した一対の音響トランスジューサと、該一対の音響トランスジューサを駆動して超音波を発生させる送信信号を発生する送信信号発生手段と、前記一対の音響トランスジューサの他方を受信側とし、該受信側音響トランスジューサが前記送信側音響トランスジューサからの超音波を受信して発生する検出信号を受信処理する受信信号処理手段と、前記送信信号と前記検出信号とに基づいて、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から受信側音響トランスジューサに超音波が到達するまでの時間を伝搬時間として計測する計時手段とを備える伝搬時間計測装置において、前記送信信号発生手段は、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号を発生し、前記受信信号処理手段は、前記送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して前記受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、前記計時手段は、前記送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから前記検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を前記伝搬時間として計測することを特徴とする伝搬時間計測装置に存する。

【0010】請求項2記載の伝搬時間計測装置によれば、送信信号発生手段が発生する送信信号には、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されており、送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を受信信号処理手段が検出し、計時手段が送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから、検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を伝搬時間として計測しているので、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分を確実に検出することができる。

【0011】請求項3記載の発明は、請求項2に記載の発明において、前記送信信号発生手段が発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された予め定めた波形の周期信号であり、前記受信信号処理手段が、前記受信側音響トランスジューサからの検出信号をアナログ・デジタル変換して検出デジタルデータを出力するA/D変換手段と、該A/D変換手段からの検出デジタルデータを1周期別に記録する記録手段と、該記録手段に記録された1周期前の検出デジタルデータと前記A/D変換手段からの検出デジタルデータとを順次乗算して乗算デジタルデータを出力する乗算手段と、該乗算手段からの乗算デジタルデータの極性の反転を検出する反転検出手段と、前記記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出する第1の補正点算出手段とを有し、前記計時手段は、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から前記反転検出手段による極性の反転の検出までの時間を計時し、該計時した時間を前記第1の補正点算出手段により算出した第1の補正点によって補正して伝

搬時間を計測することを特徴とする伝搬時間計測装置に存する。

【0012】請求項3記載の伝搬時間計測装置によれば、受信信号処理手段において、A/D変換手段が受信側音響トランスジューサからの検出信号をアナログ→デジタル変換して検出デジタルデータを出力し、A/D変換手段からの検出デジタルデータを1周期別に記録手段が記録し、記録手段に記録された1周期前の検出デジタルデータとA/D変換手段からの検出デジタルデータとを乗算手段が順次乗算して乗算デジタルデータを出力し、乗算手段からの乗算デジタルデータの極性の反転を反転検出手段が検出したとき、第1の補正点算出手段が記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出するようになっており、計時手段が計時した送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から反転検出手段による極性の反転の検出までの時間を、第1の補正点算出手段により算出した第1の補正点によって補正して伝搬時間を計測しているので、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分の検出をより正確にかつ簡単に行うことができる。

【0013】請求項4記載の発明は、請求項3記載の伝搬時間計測装置において、前記送信信号発生手段が送信信号の送信電力を予め定めた設定データにより可変可能であり、前記A/D変換手段が検出デジタルデータの値を予め定めた調整率で調整可能であり、前記受信信号処理手段が、前記記録手段に記録されている検出デジタルデータに基づいて検出デジタルデータの振幅を算出する振幅算出手段を有し、該振幅算出手段によって算出した振幅に基づいて、前記送信信号発生手段の送信電力を可変する設定データと、前記A/D変換手段の調整率とを設定することを特徴とする伝搬時間計測装置に存する。

【0014】請求項4記載の伝搬時間計測装置によれば、振幅算出手段によって算出した振幅に基づいて、送信信号発生手段の送信電力を可変する設定データと、A/D変換手段の調整率とを設定しているので、記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得られる曲線による近似が常に一定して、位相反転部分の第1の補正点として求められる曲線のゼロクロス点が一定するようになる。

【0015】請求項5記載の発明は、請求項2記載の伝搬時間計測装置において、前記送信信号発生手段が発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された予め定めた波形の周期信号であり、前記受信信号処理手段が、前記受信側音響トランスジューサからの検出信号をアナログ→デジタル変換して検出デジタルデータを出力するA/D変換手段と、該A/D変換手段からの検出デジタルデータを1周期別に記録する記録手段と、該記録手段に記録された1周期前の検出デジタルデータと前記

A/D変換手段からの検出デジタルデータとを順次乗算して乗算デジタルデータを出力する乗算手段と、該乗算手段からの乗算デジタルデータの極性の反転を検出して位相反転検出信号を出力する反転検出手段と、前記記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出する第1の補正点算出手段、又は前記反転検出手段により極性の反転を検出した乗算デジタルデータと直前の乗算デジタルデータとによる直線近似により直線のゼロクロス点を位相反転部分の第2の補正点として算出する第2の補正点算出手段の少なくとも一方とを有し、前記計時手段は、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から前記反転検出手段からの位相反転検出信号の出力までの時間を計時し、該計時した時間を前記第1の補正点算出手段により算出した第1の補正点によって補正して第1の伝搬時間、又は前記第2の補正点算出手段により算出した第2の補正点によって補正して第2の伝搬時間の少なくとも一方を計測することを特徴とする請求項2記載の伝搬時間計測装置に存する。

【0016】請求項5記載の伝搬時間計測装置によれば、受信信号処理手段において、A/D変換手段が受信側音響トランスジューサからの検出信号をアナログ→デジタル変換して検出デジタルデータを出力し、A/D変換手段からの検出デジタルデータを1周期別に記録手段が記録し、記録手段に記録された1周期前の検出デジタルデータとA/D変換手段からの検出デジタルデータとを乗算手段が順次乗算して乗算デジタルデータを出力し、乗算手段からの乗算デジタルデータの極性の反転を反転検出手段が検出したとき、第1の補正点算出手段が記録手段に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出するか、第2の補正点算出手段が反転検出手段により極性の反転を検出した乗算デジタルデータと直前の乗算デジタルデータとによる直線近似により直線のゼロクロス点を位相反転部分の第2の補正点として算出するようになっており、計時手段が計時した送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から反転検出手段による極性の反転の検出までの時間を、第1の補正点算出手段により算出した第1の補正点によって補正して第1の伝搬時間、又は第2の補正点算出手段により算出した第2の補正点によって補正して第2の伝搬時間を計測しているので、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分の検出をより正確にかつ簡単に行うことができる。

【0017】請求項6記載の発明は、請求項3～5の何れかに記載の伝搬時間計測装置において、前記送信信号発生手段が発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された2つのマークが挿入された予め定めた波形の周期信号であり、前記反転検出手段は前記2つのマー

力のそれぞれを検出して第1及び第2の位相反転検出信号を出力し、前記A/D変換手段が前記反転検出手段からの第1の位相反転検出信号によって検出デジタルデータのサンプリング周期を短くすることを特徴とする伝搬時間計測装置に存する。

【0018】請求項6記載の伝搬時間計測装置によれば、送信信号発生手段の発生する送信信号がゼロクロス点において位相反転された2つのマーカが挿入された予め定めた波形の周期信号であり、この2つのマーカの各々を反転検出手段が検出して第1及び第2の位相反転検出信号を出力し、反転検出手段からの第1の位相反転検出信号によってA/D変換手段が検出デジタルデータのサンプリング周期を短くしているため、第2の位相反転検出信号に応じて求められる第1又は第2の補正点がより正確に求められ、位相反転部分の検出をより正確かつ簡単に行うことができる。

【0019】請求項7記載の発明は、請求項3～6の何れかに記載の伝搬時間計測装置において、前記送信信号発生手段は、前記予め定めた位置に対応する1/4周期のタイミングで位相を反転した一定周期の方形波を発生する方形波発生手段と、該方形波発生手段の発生する方形波を正弦波に変換する方形波-正弦波変換手段とを有し、該方形波-正弦波変換手段が前記ゼロクロス点において位相反転された正弦波を前記送信信号として出力することを特徴とする伝搬時間計測装置に存する。

【0020】請求項7記載の伝搬時間計測装置によれば、前記送信信号発生手段において、方形波発生手段が予め定めた位置に対応する1/4周期のタイミングで位相を反転した一定周期の方形波を発生し、この方形波発生手段の発生する方形波を方形波-正弦波変換手段が正弦波に変換してゼロクロス点において位相反転された正弦波を送信信号として出力するようになっているので、方形波発生手段の発生している方形波の周期を管理することによって、予め定めた位置に対応するタイミングで位相反転した方形波を簡単に発生することができ、またこの方形波発生手段の発生した方形波を方形波-正弦波変換手段が正弦波に変換することによって、ゼロクロス点において位相反転された正弦波を送信信号として確実に発生することができる。

【0021】請求項8記載の発明は、流体管路に流体の流れ方向に一定距離離間して対向するように配置した一对の音響トランスジューサと、該一对の音響トランスジューサの一方を送信側又は受信側に、他方を受信側又は送信側となるように交互に切り換える切換手段と、該切換手段によって送信側に切り換えられた前記送信側音響トランスジューサを駆動して超音波を発生させる送信信号を発生する送信信号発生手段と、前記切換手段によって受信側に切り換えられた前記受信側音響トランスジューサが前記送信側音響トランスジューサからの超音波を受信して発生する検出信号を受信処理する受信信号処理

手段と、前記送信信号と前記検出信号とに基づいて、前記送信側音響トランスジューサによる超音波の発生から受信側音響トランスジューサに超音波が到達するまでの2つの時間を第1及び第2の伝搬時間として計測する計時手段と、該計時手段によって計測した前記第1及び第2の伝搬時間の差によって前記流体管路に流れる流体の流速を求める流速計測手段と、該流速計測手段により計測した流速に流体管路の断面積と定数を乗じて流量を求める流量演算手段とを備える超音波式流量計において、前記送信信号発生手段は、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号を発生し、前記受信信号処理手段は、前記送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して前記受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、前記計時手段は、前記送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから前記検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を前記伝搬時間として計測することを特徴とする超音波式流量計に存する。

【0022】請求項8記載の超音波式流量計によれば、送信信号発生手段が発生する送信信号には、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されており、送信側超音波トランスジューサからの超音波を受信して受信側超音波トランスジューサが発生する検出信号中の位相反転部分を受信信号処理手段が検出し、計時手段が送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから、検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を第1及び第2の伝搬時間として計測し、第1及び第2の伝搬時間の差によって流速計測手段が流体管路に流れる流体の流速を求め、計測した流速に流体管路の断面積と定数を乗じて流量演算手段が流量を求めているので、ノイズが重畳しても影響を受けることなく安定して正確に求められた第1及び第2の伝搬時間の差によってより正確に流量を計測することができる。

【0023】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は本発明による超音波式流量計の一実施の形態を示す図であり、超音波式流量計は、図9について上述したと同様に、図示しない流体管路内に対向するように配置され、一方が送信信号によって超音波を発生して送出し、他方が超音波を受信して受信した超音波に応じた検出信号を出力することを、交互に切り換えられて行う一对の音響トランスジューサTD1及びTD2と、音響トランスジューサTD1、TD2に超音波を発生させるための送信信号を発生する送信信号発生手段としてのデジタル周波数シンセサイザ2とを有する。

【0024】デジタル周波数シンセサイザ2としては、例えば以下のように構成されたものが使用される。まず、正弦波を所定の分解能にて分解した離散値のデジタルデータとして読み出し専用のメモリに格納しておき、

後述するマイクロコンピュータ (μ COM) からなる演算制御部3からの送信要求に応じて、演算制御部3により予め設定された周波数にて決定されるサンプリング周期にてメモリに格納してあるデジタルデータを順次読み出して出力する。この場合、予め設定された周波数によっては、決定されたサンプリング周期に対応するデジタルデータがメモリに格納されていないことがあるが、このようなときには前後のデジタルデータに基づいて補間を行ってデジタルデータを作成して出力する。このデジタルデータを出力している過程において、演算制御部3により予め設定された位相反転位置において、それまでのものと極性を反転したデジタルデータを出力することによって、図2(a)に示すようなデジタルデータに基づく階段状の送信信号を出力する。

【0025】デジタル周波数シンセサイザ2が送信要求に応じて出力する階段状の送信信号は切換手段としての送信電力調整部4に送られ、ここで演算制御部3により予め設定された送信電力となるようにデジタルデータの変更が加えられる。送信電力調整部4はデジタル周波数シンセサイザ2の発生する送信信号を演算制御部3からの選択信号により選択された音響トランスジューサTD1又はTD2に対し、ローパスフィルタ(LPF)5a又は5bを介してそれぞれ供給するための切り換え動作も行う。LPF5a及び5bは例えば送信電力調整部4とトランス結合するためのトランスのインダクタンスと、抵抗と、コンデンサによって構成され、階段状送信信号の低域成分のみを通過させて正弦波に近似した図2(b)に示すような波形の送信信号を形成する。

【0026】送信電力調整部4によって切り換えられることによって、一方の音響トランスジューサTD1又はTD2はLPF5a又は5bを介して供給される送信信号により駆動されて超音波を発生し、他方の音響トランスジューサTD2又はTD1は一方の音響トランスジューサTD1又はTD2が発生する超音波を受信し、この受信した超音波に応じた検出信号を発生する。他方の音響トランスジューサTD2又はTD1の発生する検出信号はLPF5b又は5aを介して増幅回路6に入力され、ここで適当なレベルまで増幅された後、A/D変換手段としてのアナログ/デジタル(A/D)変換器7に入力される。A/D変換器7は、演算制御部3によって予め設定されたサンプリング周期で検出信号をサンプリングしてデジタルデータ化し、検出デジタルデータを出力する。なお、A/D変換器7は、演算制御部3によって予め設定された調整率で検出デジタルデータの値を調整するプログラマブルゲイン調整機能を有するものとなっている。

【0027】A/D変換器7がA/D変換して出力する検出デジタルデータは読み出し書き込み自在のメモリである記録手段としてのサイクリングRAM8と乗算手段としての乗算器9とに入力される。サイクリングRAM

8は演算制御部3によって予め設定されたA/D変換器7のサンプリング周期にて入力されるデジタルデータをサイクリングに、すなわち、1周期別に記録する。サイクリングRAM8に記録したデジタルデータは μ COM3によって読み込まれて μ COM3に取り込まれると共に、乗算器9に対して出力される。乗算器9は、A/D変換器7からサンプリング毎に入力される検出デジタルデータとRAM8に記録されている1周期前の対応する検出デジタルデータとを順次乗算して出力する。

【0028】乗算器9の出力する乗算デジタルデータはデジタルフィルタ処理部10に入力され、ここでデジタル状態でフィルタ処理が行われる。フィルタ処理された乗算デジタルデータは反転検出手段としての検出回路11と μ COM3とに入力される。検出回路11は、デジタルフィルタ処理部10によってデジタルフィルタ処理された乗算デジタルデータをを入力し、この入力したデジタルデータが μ COM3によって予め設定された一定レベル以上となったことを検出して入力信号検出信号を発生し、これを μ COM3に対して出力する。検出回路11はまた、デジタルフィルタ処理部10からのデジタルフィルタ処理された乗算デジタルデータの極性が負になったことを検出して位相反転検出信号を発生し、これを μ COM3と計時手段としてのカウンタ回路12に対して出力する。

【0029】カウンタ回路12は、 μ COM3がデジタル周波数シンセサイザ2に対して送信要求信号を出力するタイミングで、 μ COM3から初期化信号が入力されて時間の計時を開始し、位相反転検出信号の入力に応じてカウンタ値を μ COM3に対して出力する。よって、カウンタ回路12のカウント値は、送信信号の送信から位相反転検出までのおよその時間を表し、このカウント値を補正して正確な超音波の伝搬時間を求めることができる。具体的には、伝搬時間は送信信号の送信開始から位相反転までの時間と1サンプリング時間とをカウンタ値から差し引いたものに補正值を加算して求めることができる。

【0030】演算制御部として働く μ COM3は、予め定めたプログラムに従って処理を行う中央処理ユニット(CPU)31と、プログラムや各種の固定データを格納した読み出し専用のメモリであるROM32と、処理の過程で各種のデータを格納するデータエリアや処理の過程で使用するワークエリアなどが形成された書き込み読み出し自在のメモリであるRAM33とを有する。

【0031】 μ COM3のCPU31は、電池電源の投入によって動作を開始し、デジタル周波数シンセサイザ2に送信信号を発生させる制御と、デジタル周波数シンセサイザ2の発生する送信信号によって一方の音響トランスジューサの発生する超音波を他方の音響トランスジューサに受信させて検出信号を発生させる制御と、検出信号についての処理とを行う。

【0032】具体的には、伝搬時間を計測する計測周期がくると、デジタル周波数シンセサイザ2に対して発信周波数の設定データと位相判定位置の設定データとを出力する。CPU31はまた、送信電力調整部4に対し送信電力の設定データと送信側音響トランスジューサの選択データとを、A/D変換器7に対しA/D変換したデジタルデータの値を調整する調整率の設定データを、A/D変換器7とサイクリングRAM8に対してサンプリング周期の設定データを、検出回路11に対し入力信号検出レベルの設定データを、そしてカウンタ回路12に対してタイムアウトの設定データをそれぞれ出力する。

【0033】上述のように超音波の送受信の準備ができたところで、デジタル周波数シンセサイザ2とカウンタ回路12に対して送信要求信号を出力すると、デジタル周波数シンセサイザ2が図2(a)に示すような階段状の送信信号を発生し、カウンタ回路12が時間の計時を開始する。デジタル周波数シンセサイザ2の発生する送信信号は、選択信号によって送信側として選択された例えば音響トランスジューサTD1に対し、LPF5aにより図2(b)のような波形に処理されて供給される。送信信号が供給された送信側音響トランスジューサTD1は送信信号によって駆動されて超音波を発生する。

【0034】送信側音響トランスジューサTD1が発生した超音波は流体管路内の流体中を伝搬して受信側音響トランスジューサTD2によって受信される。流体中を伝搬する超音波は流体の流速の影響を受け、その伝搬速度は流体の流れと同一方向に伝搬するときには静止流体中よりも速い速度で伝搬し、伝搬時間は短くなり、逆方向の場合は長くなる。

【0035】受信側音響トランスジューサTD2は超音波を受信することによって、受信した超音波の波形に応じた検出信号を発生し、これをLPF5bを介して増幅回路6に供給する。増幅回路6は検出信号を所定レベルに増幅した後A/D変換器7に供給する。A/D変換器7は設定データによって設定されたサンプリング周期で検出信号をサンプリングして検出デジタルデータに変換すると共に、設定データによって設定された調整率でその値を調整して検出デジタルデータを出力する。図3

(b)は図3(a)の送信信号によって発生された超音波を受信した音響トランスジューサが発生する検出信号をA/D変換器7によってデジタルデータに変換して得た検出デジタルデータを示し、図3(c)は上記調整率で調整され検出デジタルデータの値が全体的に増大された後の検出デジタルデータを示している。

【0036】A/D変換器7によってデジタルデータに変換して得られた検出デジタルデータはRAM8に供給されて1周期別に記録される。この記録の際、1周期の開始点を、デジタルフィルタ処理部10の出力値が所定のしきい値を越えた点で認識する。同じ検出デジタルデータは乗算器9に対しても供給され、サイクリングRA

M8に記録された1周期前の検出デジタルデータと乗算される。この乗算デジタルデータは図3(d)に示すようになり、位相反転位置を境に正から負になっている。乗算デジタルデータはデジタルフィルタ処理部10に供給されてデジタルフィルタ処理された後検出回路11に供給される。デジタルフィルタ処理では、検出回路11における位相反転マークを正確に検出するために、サイクリングRAMのデータを平滑化している。検出回路11はデジタルフィルタ処理された後の乗算デジタルデータを入力する毎に、設定データによって設定された入力信号検出レベル以上であるかどうかを監視し、入力信号検出レベル以上の乗算デジタルデータが入力されたとき入力信号検出信号を発生し、これを μ COM3のCPU31に対して入力する。

【0037】 μ COM3のCPU31は、デジタルフィルタ処理された乗算デジタルデータが供給されており、検出回路11から入力信号検出信号が入力されると、後の直線近似による補正点の算出のために、乗算デジタルデータを読み込んでRAM33内のデータエリアに順次格納する。

【0038】ところで、位相反転される前の検出デジタルデータが乗算器9に供給されている間は、相前後する周期の対応する検出デジタルデータは同一の極性となっているので、乗算の結果得られる乗算デジタルデータは正となっている。しかし、相前後する検出デジタルデータの全体或いは一部分(位相反転前の周期が半周期分があるかどうかによって異なる)に位相反転部分があると、その位相反転位置に対応する検出デジタルデータの乗算を境に乗算デジタルデータの極性が負となるようになる。そこで検出回路11はフィルタ処理された後の乗算デジタルデータを入力する毎に、入力した乗算デジタルデータの極性が負であるかどうかを監視し、負の乗算デジタルデータが入力されたとき位相反転検出信号を発生し、これをカウンタ回路12と μ COM3のCPU31に対して入力する。

【0039】送信要求信号の入力によって計時を開始しているカウンタ回路12は位相反転検出信号の入力に応じてそのときのカウント値を μ COM3のCPU31に対して出力すると共に、位相反転検出信号を入力した μ COM3のCPU31はカウンタ回路12が出力しているカウンタ値を読み込みRAM33のデータエリアの所定のエリアに格納する。このカウンタ値は送信側においてマークとして挿入された位相反転位置のおおよその位置を表すもので、このカウンタ値を補正して実際の位相反転位置を算出する。この実際の位相反転位置の算出のために、RAM33内のデータエリアに格納してあるフィルタ処理後の乗算デジタルデータに基づいて直線近似による補正点の算出を近似的に行う。

【0040】この直線近似による補正点の算出は、実際に負となった乗算デジタルデータの点と、負になる直前

の乗算デジタルデータの点とを直線にて結び、サンプリング時間をその両者の大きさの比で按分して求めた時間を負になる直前のサンプリングタイミング時間に加算することで行う。

【0041】 μ COM3のCPU31は上記位相反転検出信号の入力に応じてサイクリングRAM8に記録している検出デジタルデータに基づく曲線又は一定の正弦波の近似によって位置検出を行う。この位置検出は、近似して得た曲線の0クロス点とサンプリング点との位相差を求めるもので、この位相差によってカウンタ値を補正して乗算デジタルデータの実際の極性反転点を算出して送信側においてマーカとして挿入された位相反転位置を検出する。

【0042】また、サイクリングRAM8に記録している検出デジタルデータに基づいて得た余弦波の自乗値と正弦波の自乗値との加算値の平方根によって受信データの振幅を求め、この求めた振幅をその後の送信電力とA/D変換器7のゲイン調整率を設定するために利用する。なお、送信電力及びA/D変換値の調整率は、曲線を求めるための検出デジタルデータが一定の条件で得られたものであることを保障するためのものである。

【0043】上述のようにして一方の音響トランスジューサTD1を送信側として行った超音波の送受信によ

$$V = 1/2 L \cdot C^2 \cdot (t_2 - t_1) \quad \dots\dots (3')$$

の計算を行って流体の流速Vを、この流速Vに基づいて上記式(4)の計算を行って流量をQをそれぞれ求める。

【0045】なお、上記式(3')は、以下のようにして求められたものである。

$t_2 \cdot t_1 = L^2 / (C + V) \cdot (C - V) = L^2 / (C^2 - V^2)$ であり、流速Vは音速Cに比べて極めて小さ

$$V = L/2 \cdot ((1/t_1) - (1/t_2)) \quad \dots\dots (3'')$$

の計算によって求めた2つの流速に基づいて1つの流速を求めるようにしてもよい。

【0046】以上概略説明した動作の詳細な説明を μ COM3のCPU31が行う処理を示す図4のフローチャートを参照して以下説明する。

【0047】 μ COM3のCPU31はその動作の開始後ステップS1において計測周期となったか否かを判定する。この計測周期は別途予め定められるもので、一定或いはランダム周期とされる。ステップS1の判定がYESになると、ステップS2に進んでデジタル周波数シンセサイザ2に対して発信周波数の設定データを出力する。続いてステップS3に進んで検出回路11に対する入力信号検出レベルの設定データを出力する。その後ステップS4に進んでA/D変換器7に対する調整率の設定データを出力する。また、次のステップS5ではデジタル周波数シンセサイザ2に対する位相反転位置の設定データを出力し、続くステップS6においてカウンタ回路12に対し初期化信号を出力すると共にタイムアウト

て流体の流れ方向での超音波の伝搬時間を計測し終わり、カウンタ回路12が設定データにより設定したタイムアウト時間が経過したところで、デジタル周波数シンセサイザ2とカウンタ回路12に対して送信要求信号を出力して、デジタル周波数シンセサイザ2が図2(a)に示すような階段状の送信信号を発生させ、カウンタ回路12に時間の計時を開始させる。しかし、デジタル周波数シンセサイザ2の発生する送信信号は、今度は、選択信号によって送信側として選択された音響トランスジューサTD2に対し、LPF5bにより図2(b)のような波形に処理されて供給される。送信信号が供給された送信側音響トランスジューサTD2は送信信号によって駆動されて超音波を発生する。そして、この超音波を受信側となる音響トランスジューサTD1によって受信して上述したと同様の処理を繰り返す。

【0044】この処理が終了すると、直線近似と曲線近似により、流体の流れと同一の順方向と逆方向の両方向での超音波の伝搬時間 t_1 及び t_2 の計測が行われる。その後両近似によって求めた伝搬時間 t_1 及び t_2 についての2つの時間差($t_2 - t_1$)を求め、この2つの時間差に基づいて1つの伝搬時間差を求める。この求めた伝搬時間差により上記式(3)を変形した式、

な数値であるので、式中の V^2 は C^2 に比べて極めて小さく無視でき、 $t_2 \cdot t_1 = L^2 / C^2$ とすることで、書き直されたものである。式中のCは固定値を使用することができ、温度や圧力などによって変化するので、時事刻々変化する音速を別途測定したものをを用いるようにしてもよい。また、時間差($t_2 - t_1$)によらず、

の設定データを出力する。このタイムアウトの設定データは、超音波を送信させる送信要求を出力してから、一定時間経過しても超音波が受信されないとき、どこかにエラーが生じたと判断し、再度送信要求を出力するためのものである。次のステップS7では送信電力調整部4に対する送信電力の設定データを出力し、次のステップS8では送信電力調整部4に対する送信側音響トランスジューサの選択データを出力し、超音波の送受信のための全ての準備が整ったところでステップS9に進んで送信要求信号をデジタル周波数シンセサイザ2に対して出力する。

【0048】送信要求信号を入力したデジタル周波数シンセサイザ2は、上記ステップS2で出力された設定データにより定められた周波数で、かつ上記ステップS5で出力された設定データにより定めた位置に位相反転からなるマーカを挿入した階段状の正弦波を送信信号として発生し、この送信信号はLPFを介して上記ステップS8で出力された選択データにより定められた音響トラ

ンスジューサに対して供給される。送信信号が供給された送信側の音響トランスジューサは送信信号によって駆動されて超音波を発生するようになる。

【0049】ステップS9において送信要求信号を出力したCPU31はステップS9'に進んで上記ステップS6にて設定したタイムアウト時間が経過したか否かを判定し、時間が経過せず判定がNOのときにはステップS10に進んで検出回路11からの入力信号検出信号が入力されるか否かを判定し、入力信号検出信号が入力されていないときには上記ステップS9'に戻って再度タイムアウト時間が経過したか否かを判定し、ステップS9'又はステップS10の判定がYESになるのを待ち、入力信号検出信号が入力されてステップS10の判定がYESになるとステップS11に進む。また、ステップS9'の判定がYESになると、すなわち、どこかにエラーが生じて一定のタイムアウト時間が経過しても入力信号検出信号が入力されないときには、上記ステップS6に戻って再度ステップS6からの処理を開始する。

【0050】ステップS11に進んだときには、ここでデジタルフィルタ10からのフィルタ出力を読み込みRAM33内のデータエリアの所定領域に格納する。その後ステップS12に進んで検出回路11からの位相反転検出信号が入力されるのを待ち、位相反転検出信号が入力されてステップS12の判定がYESになるとステップS13に進む。ステップS13においてはカウンタ回路12のカウント値を読み込んでRAM33内のデータエリアの所定エリアに格納する。

【0051】その後ステップS14に進んで上記ステップS11において読み込みRAM33内のデータエリアの所定領域に格納したフィルタ出力に基づいて直線近似による補正点を算出する。続いてステップS15に進んでサイクリングRAM8に記録されている検出デジタルデータを読み込みRAM33内の所定領域に格納する。その後ステップS16に進んで上記ステップS15において読み込みRAM33内のデータエリアの所定領域に格納した検出デジタルデータに基づく曲線を求め、この曲線近似による補正点を算出してからステップS17に進み、ここで両方向の計測が終了したか否かの判定を行う。この判定は、位相反転検出の回数をカウントすることによって行う。ステップS17の判定がNOのとき、すなわち、流体の流れと同一方向と逆方向の両方向の計測が終わっていないときには、上記ステップS6に戻って上述した動作を繰り返し、上述したと逆方向の計測を行う。

【0052】両方向の計測が終了してステップS17の判定がYESになるとステップS18に進み、ここで上記ステップS14において算出した補正点によって補正して求めた順方向と逆方向の伝搬時間の時間差と、上記ステップS16において算出した補正点によって補正し

て求めた順方向と逆方向の伝搬時間の時間差とを求め、その後ステップS19に進んで上記ステップS18において求めた両時間差により超音波の順方向と逆方向の伝搬時間差と、この伝搬時間差による流速と、この流速に流体管路の断面積と定数を乗じた流量とをそれぞれ求める。このことによって今回の計測周期における瞬時流量を計測することができ、これに計測周期を乗じることによって通過流量を求めることができる。その後ステップS20に進んで上記ステップS16における検出デジタルデータにより求めた曲線によって受信データの振幅を求め、この求めた振幅によって送信電力と調整率を求める。このステップS20において求めた送信電力と調整率は次の周期において、ステップS7で出力する送信電力の設定データとステップS4で出力する調整率の設定データを定めるために利用される。

【0053】以上フローチャートに基づいて行った説明から明らかなように、 μCOM 3のCPU31は、A/D変換器7、サイクリングRAM8、乗算器9、デジタルフィルタ処理部10、検出回路11などと共に受信信号処理手段を構成し、特に、サイクリングRAM8に記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出する第1の補正点算出手段と、検出回路11により極性の反転を検出した乗算デジタルデータと直前の乗算デジタルデータとによる直線近似により直線のゼロクロス点を位相反転部分の第2の補正点として算出する第2の補正点算出手段としての他、サイクリングRAM8に記録されている検出デジタルデータに基づいて検出デジタルデータの振幅を算出する振幅算出手段と、第1及び第2の伝搬時間の差によって流体管路に流れる流体の流速を求める流速計測手段と、計測した流速に流体管路の断面積と定数を乗じて流量を求める流量演算手段として働いている。

【0054】なお、上述した実施の形態では、直線近似により求めた時間差と曲線近似により求めた時間差の両方を利用しているが、曲線近似或いは直線近似のみであってもノイズに影響されない伝搬時間の計測が可能である。

【0055】また、上述した実施の形態では、送信信号発生手段としてデジタル周波数シンセサイザ2を使用しているが、この場合、正弦波を所定の分解能にて分解した離散値のデジタルデータとして読み出し専用のメモリに格納しておき、マイクロコンピュータ(μCOM)からなる演算制御部3からの送信要求に応じて、演算制御部3により予め設定された周波数にて決定されるサンプリング周期にてメモリに格納してあるデジタルデータを順次読み出して出力し、このデジタルデータを出力している過程において、演算制御部3により予め設定された位相反転位置において、それまでのものと極性を反転したデジタルデータを出力することによって、図2(a)

に示すような階段状の送信信号を出力し、この階段状送信信号の低域成分のみを通過させて正弦波に近似した図2(b)に示すような送信信号を形成している。この構成の場合、正弦波を所定の分解能にて分解した離散値のデジタルデータを格納する読み出し専用のメモリを必要とする他、発生しようとする送信信号の周波数によっては、メモリに格納されているデジタルデータに基づいて補間を行って新しいデジタルデータを作成して出力することも必要になる。

【0056】この点、送信信号発生手段を図5に示すように構成した場合には、デジタルデータを格納するメモリや新たなデジタルデータの作成を必要としなくなる。すなわち、送信信号発生手段が、デジタルシンセサイザに代えて、演算制御部3からの送信要求に応じて正弦波を発生して出力する正弦波発振回路2aと、正弦波発振回路2aの出力する正弦波をそのゼロクロス点において演算制御部3から出力される位相反転指示に応じて位相反転し、正弦波のゼロクロス点で位相反転した正弦波を出力する位相反転回路2bとによって構成されている。位相反転回路2bは、正弦波発振回路2aからの正弦波を非反転増幅し入力した正弦波と同位相の正弦波を出力する非反転増幅器2b1と、出力が非反転増幅器2b1の出力と相互接続され、正弦波発振回路2aからの正弦波を反転増幅しこの入力した正弦波と逆位相の正弦波を出力する反転増幅器2b2と、演算制御部3からの位相反転指示に応じて切り替えられ、正弦波発振回路2aからの正弦波を非反転増幅器2b1又は反転増幅器2b2の一方に入力するように切り替えられる切替スイッチ2b3とを有し、相互接続された両増幅器の出力に位相反転指示のタイミングで位相反転された正弦波を出力するように構成されている。

【0057】この構成の送信信号発生手段では、位相反転回路2bが正弦波をゼロクロス点で正確に位相反転するように、演算制御部3は正弦波発振回路2aの発生する正弦波をサンプリングして入力し、サンプリング値が0になるタイミング、すなわち、 $\pi/2n$ ($n=0, 1, 2, \dots$) のタイミングで位相反転指示を位相反転回路2bに対して出力するようになっていなければならない。位相反転のタイミングを正確なものにするには、正弦波のサンプリングを高速で行うことになるが、サンプリング速度を高速にすると、これを行う演算制御部3を構成している μ COMの電源消費が大きくなり、電池電源を使用した場合には、その消耗が早く電池交換が速まることになる。また、高速サンプリングを行っても、ファームウェア処理の遅延によって正確な位相反転には限度がある。

【0058】図6は上述したような位相反転タイミング制御の高精度化を容易に実現した送信信号発生手段の例を示し、同図において、プログラムに従って動作する μ COMからなる演算制御部3は、予め定めた位置に対応

する1/4周期のタイミングで位相を反転した一定周期の方形波を発生する方形波発生手段として働き、図7

(a)に示すように、送信信号の送信開始に応じて1/4周期の間Hレベルになり、その後1/2周期毎にLレベル及びHレベルを繰り返す、マークを挿入するタイミングである1/4周期のタイミングに相当するLレベルの中間点で位相が反転するように1/4周期のLレベル及びHレベルを連続させ、その後1/2周期毎にLレベル及びHレベルを繰り返す方形波を発生する。方形波発生手段の発生する図7(a)の方形波は方形波-正弦波変換回路2dに入力される。

【0059】方形波-正弦波変換回路2dは、方形波を正弦波に変換してゼロクロス点において位相反転された正弦波を送信信号として出力し、具体的には、抵抗RとコンデンサCによる充放電の時定数 $C \cdot R$ により方形波を正弦波に変換するCR回路によって構成されており、図7(a)の方形波が入力されると、同図7(b)に示すように、方形波の位相反転箇所に対応するゼロクロス点において位相の反転した正弦波を送信信号として出力する。

【0060】演算制御部3を構成している μ COMは、図8のフローチャートに示すような処理を行うことによって図7(a)に示すような方形波を出力ポートOに発生する。

【0061】すなわち、 μ COMのCPUは方形波発生処理の最初のステップS1において、送信信号の予め定められた発生タイミングが来るのを待ち、ステップS1の判定がYESとなって発生タイミングがきたら、ステップS2に進んでCPUの出力ポートOをHレベルにするとともに1/4周期タイマをスタートさせ、かつ送信開始フラグFに1をセットしてから、1/4周期の時間が経過して1/4タイマがタイムアウトになるのを待つ(ステップS3)。その後1/4周期の時間が経過して1/4周期タイマがタイムアウトになると(ステップS3のYES)、次にステップS4に進んでCPUの出力ポートOをLレベルにするとともに1/2周期タイマをスタートさせ、1/2周期タイマがタイムアウトになるのを待つ(ステップS5)。その後1/2周期タイマがタイムアウトになると(ステップS5のYES)、ステップS6に進んでCPUの出力ポートOをHレベルにするとともに1/2周期タイマをスタートさせ、かつ方形波の発生周期を計数する周期カウンタCをインクリメントしてから、1/2周期タイマがタイムアウトになるのを待つ(ステップS7)。

【0062】その後1/2周期タイマがタイムアウトになると(ステップS7のYES)、ステップS8に進んで送信開始フラグFに1がセットされているかどうかによって、発生している方形波が送信開始から位相反転前のものであるかどうかを判断する。発生している方形波が位相反転前のものであるときには(ステップS8のY

ES)、ステップS9に進んで周期カウンタCの計数値が位相反転前に発生すべき周期数 x になっているかどうかを判定し、位相反転前に x 周期の方形波を発生していないとき(ステップS9のNO)には、ステップS4に戻って上述した処理を繰り返し、さらに1周期の方形波を発生する。以上の処理を繰り返し、位相反転前に予め定めた x 周期分の方形波を発生すると(ステップS9のYES)、ステップS10に進んでCPUの出力ポートOをLレベルにするとともに1/4周期タイマをスタートさせ、かつ送信開始フラグFに0をセットするとともに周期カウンタCをクリアしてから、1/4周期の時間が経過して1/4周期タイマがタイムアウトになるのを待つ(ステップS11)。

【0063】その後1/4周期の時間が経過して1/4周期タイマがタイムアウトになると(ステップS11のYES)、次にステップS12に進んでCPUの出力ポートOをHレベルにするとともに1/4周期タイマをスタートさせ、1/2周期タイマがタイムアウトになるのを待つ(ステップS13)。その後1/4周期タイマがタイムアウトになる(ステップS13のYES)ことによって、方形波の位相反転処理が完了する。その後、上述したステップS4に戻ってステップS4～ステップS7の処理を行って位相反転後の1周期分の方形波の発生処理を行い、1周期分の方形波を発生し終わるとステップS8に進む。

【0064】ステップS8においては、送信開始フラグFに1がセットされているかどうかによって、発生している方形波が送信開始から位相反転前のものであるかどうかを判断するが、上述したように、位相反転前の x 周期の方形波の発生を終わりステップS10において送信開始フラグFに0がセットされているので、ステップS8の判定はNOになるので、ステップS14に進む。

【0065】ステップS14においては、周期カウンタCの計数値が位相反転後に発生すべき周期数 y になっているかどうかを判定し、位相反転後に y 周期の方形波を発生していないとき(ステップS14のNO)には、ステップS4に戻って上述したステップS4～ステップS7の処理を繰り返し、さらに1周期の方形波を発生する。ステップS4～ステップS7の1周期分の方形波を発生する処理を繰り返し、位相反転後に予め定めた y 周期分の方形波を発生すると(ステップS14のYES)、ステップSに進んで出力ポートOをLレベルにするとともに周期カウンタCをクリアしてから、上述したステップS1に戻って1送信信号分の方形波の発生を終了し、次の送信信号の発生タイミングを待つ。

【0066】以上フローチャートに基づいて説明したことから明らかなように、演算制御部3を構成している μ COMのCPUは、予め定めた位置に対応する1/4周期のタイミングで位相を反転した一定周期の方形波を発生する方形波発生手段として働いている。

【0067】上述した実施の形態では、ゼロクロス点において位相を反転した正弦波からなる送信信号を発生するために、1/4周期のタイミングで位相を反転した一定周期の方形波を発生し、これを正弦波に変換するようにしているが、正弦波に変換したときゼロクロス点で位相反転するような波形の方形波は、簡単な回路使用し、しかも周期管理によって任意の周期のものを自在にかつ高精度に形成できる。このことによって、正弦波発生回路の発生する正弦波にゼロクロス点で直接に位相反転を挿入する場合のように、発生した正弦波をサンプリングしてゼロクロス点を常時監視するような、電源消費が多く、しかもコスト高になる高速複雑なファームウェアや複雑な回路の使用も必要なくなる。

【0068】

【発明の効果】請求項1記載の発明によれば、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号によって発生された超音波を受信して発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を伝搬時間として計測するようにして、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分を確実に検出することができるので、小流量での超音波伝搬時間の計測を安定して正確に行うことを可能にし、低流量時から高流量時にわたる広範な伝搬時間を精度よく計測することができる伝搬時間計測方法が得られる。ひいては、この伝搬時間計測方法を超音波流量計に用いることにより精度の高い流量計測を行うことが可能となる。

【0069】請求項2記載の発明によれば、予め定めた位置に位相を反転したマーカの挿入されている送信信号によって発生された超音波を受信して発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、送信信号に挿入したマーカの送信タイミングから、検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を伝搬時間として計測するようにして、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分を確実に検出することができるので、小流量での超音波伝搬時間の計測を安定して正確に行うことを可能にし、低流量時から高流量時にわたる広範な伝搬時間を精度よく計測することができる伝搬時間計測装置が得られる。更に、この伝搬時間計測装置を超音波流量計に用いることにより精度の高い流量計測を行うことが可能となる。

【0070】請求項3記載の発明によれば、請求項2に記載の発明の作用に加えて、検出信号をアナログ→デジタル変換して記録した1周期前の検出デジタルデータと検出デジタルデータとを順次乗算して乗算デジタルデータを出力し、乗算デジタルデータの極性の反転を検出したとき、記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出し、超

音波の発生から反転検出手段による極性の反転の検出までの時間を、算出した第1の補正点によって補正して伝搬時間を計測するようにして、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分の検出をより正確にかつ簡単に行うことができるので、安定して精度の高い伝搬時間計測を行うことが可能となり、ひいては、伝搬時間計測装置を超音波流量計に用いることにより精度の高い流量計測を行うことが可能となる。

【0071】請求項4記載の発明によれば、請求項3に記載の発明の作用に加えて、検出デジタルデータにより算出した振幅に基づいて、送信電力を可変するとともに、検出デジタルデータの値を調整するようにして、記録されている検出デジタルデータによって得られる曲線による近似が常に一定して、位相反転部分の第1の補正点として求められる曲線のゼロクロス点が一定するようになるので、安定して精度の高い伝搬時間計測を行うことが可能となり、精度の高い流量計測を行うことが可能となる。

【0072】請求項5記載の発明によれば、請求項2記載の発明の作用に加えて、記録されている検出デジタルデータによって得た曲線又は一定の正弦波による近似により曲線のゼロクロス点を位相反転部分の第1の補正点として算出するか、極性の反転を検出した乗算デジタルデータと直前の乗算デジタルデータとによる直線近似により直線のゼロクロス点を位相反転部分の第2の補正点として算出するようになっており、超音波の発生から極性の反転の検出までの時間を、第1の補正点によって補正して第1の伝搬時間、又は第2の補正点によって補正して第2の伝搬時間を計測するようにして、ノイズが重畳しても影響を受けることなく、位相反転部分の検出をより正確にかつ簡単に行うことができるので、安定して精度の高い伝搬時間計測を行うことが可能となる伝搬時間計測装置が得られ、ひいてはこの伝搬時間計測装置を超音波流量計に用いることにより精度の高い流量計測を行うことが可能となる。

【0073】請求項6記載の発明によれば、請求項3～5記載の発明の作用に加えて、送信信号がゼロクロス点において位相反転された2つのマークが挿入された予め定めた波形の周期信号であり、この2つのマークの各々を検出して得られる第1の位相反転検出信号によって検出デジタルデータのサンプリング周期を短くし、第2の位相反転検出信号に応じて求められる第1又は第2の補正点がより正確に求められ、位相反転部分の検出をより正確にかつ簡単に行うことができるので、安定して正確な計測が行え、高精度の流量計測を行うことが可能となる。

【0074】請求項7記載の発明によれば、請求項3～6記載の発明の作用に加えて、方形波の周期を管理することによって、予め定めた位置に対応するタイミングで位相反転した方形波を簡単に発生することができ、また

この発生した方形波を正弦波に変換することによって、ゼロクロス点において位相反転された正弦波を送信信号として確実に発生することができるので、予め定めた位置に位相を反転したマークの挿入されている送信信号を発生するに当たって、大きな電力消費を伴う動作を必要としなくなるとともに、簡単な回路やファームウェアの使用によって低コストで高精度の流量計測を行うことが可能となる。

【0075】請求項8記載の発明によれば、予め定めた位置に位相を反転したマークの挿入された送信信号により発生した超音波を受信して発生する検出信号中の位相反転部分を検出し、送信信号に挿入したマークの送信タイミングから、検出信号から検出した位相反転部分の受信タイミングまでの時間を第1及び第2の伝搬時間として計測し、第1及び第2の伝搬時間の差によって流体管路に流れる流体の流速を求め、計測した流速に流体管路の断面積と定数を乗じて流量を求めるようにして、ノイズが重畳しても影響を受けることなく安定して正確に求められた第1及び第2の伝搬時間の差によってより正確に流量を計測することができるので、小流量の流体流量の計測を安定して正確に行うことを可能にした超音波式流量計が得られる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による超音波式流量計の一実施の形態を示す図である。

【図2】デジタル周波数シンセサイザの発生する階段状の送信信号とLPFを通過した後の送信信号とを示す波形図である。

【図3】特定の送信信号に対応する検出デジタルデータ、調整後の検出デジタルデータ、及び乗算デジタルデータを示す図である。

【図4】図1中の μCOM のCPUが行う処理を示すフローチャートである。

【図5】図1中の送信信号発生手段であるデジタル周波数シンセサイザの代替構成を示すブロック図である。

【図6】図1中の送信信号発生手段の他の代替構成を示すブロック図である。

【図7】図6の構成によって送信信号を発生する原理を説明するための波形図である。

【図8】図6の構成によって送信信号を発生するために利用する方形波を発生するため、図1中の μCOM のCPUが行う方形波発生処理を示すフローチャートである。

【図9】従来例の概要構成ブロック図である。

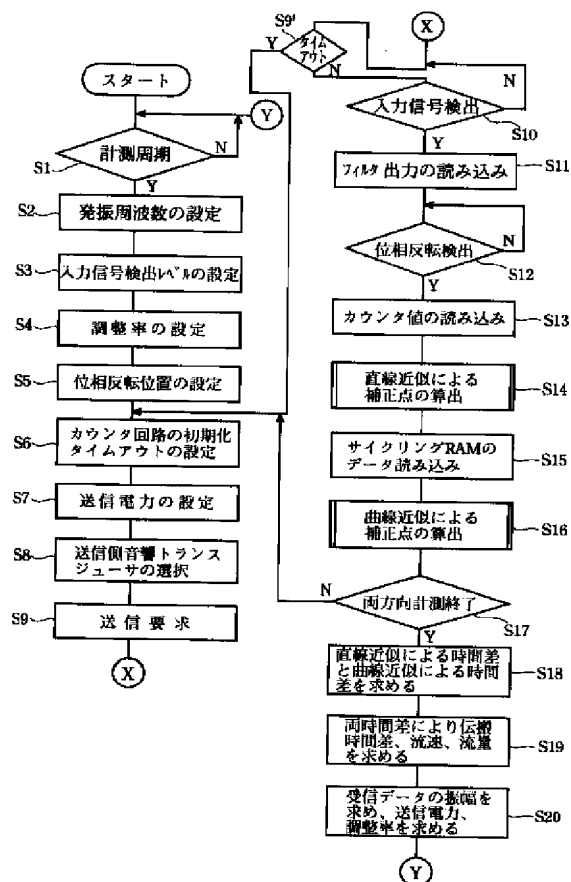
【図10】流量検出の原理説明図である。

【図11】従来例の伝搬時間計測装置の構成例を示す図である。

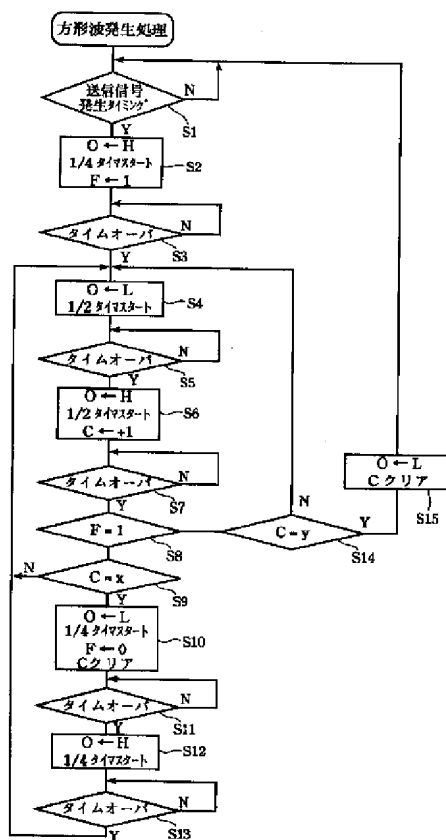
【符号の説明】

TD1、TD2	音響トランスジューサ
2	送信信号発生手段（デジタル周波

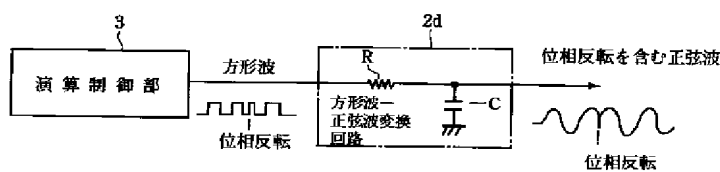
【図4】



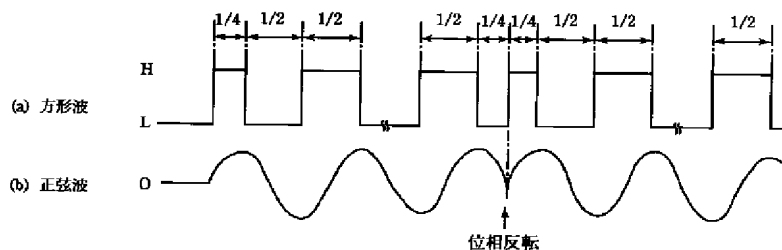
【図8】



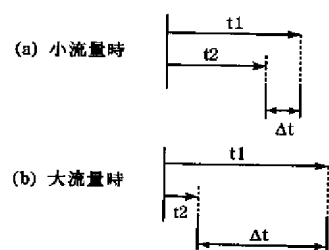
【図6】



【図7】



【図10】



$$t1 = \frac{L}{C+V}, \quad t2 = \frac{L}{C-V}$$

$$V = \frac{L}{2} \cdot \frac{t2-t1}{t1 \cdot t2}$$

$$Q = K \cdot A \cdot \frac{L}{2} \cdot \frac{t2-t1}{t1 \cdot t2}$$

Q: ガス流量 L: チューブ長
C: 音速 K: 係数
V: ガス流速 A: 断面積